

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Vliv tepelných účinků na provoz rozvodných zařízení
The impact of thermal effects on operation of distributions
systems**

Zadání diplomové práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Kosellek**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vliv tepelných účinků na provoz rozvodných zařízení**
The impact of thermal effects on operation of distributions systems

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte problematiku tepelných účinků elektrického proudu.
2. Popište provedení rozváděčů nn.
3. Definujte vnější vlivy ovlivňující tepelný režim rozváděče.
4. Realizujte praktické měření oteplení rozváděče a jeho komponentů.
5. Popište úpravy vedoucí ke zvýšení spolehlivosti a životnosti rozváděče.

Seznam doporučené odborné literatury:


Havelka : Elektrické přístroje, SNTL 1985
Havelka : Stavba elektrických přístrojů I, VUT Brno 1985
Holoubek : Rozvodná zařízení a spínací prvky, VUT Brno 1991
příslušné EN, ČSN

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňkovi Hytkovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnoval.

Abstrakt

Úkolem této diplomové práce je obeznámit s problematikou související s oteplováním elektrických přístrojů, tedy rozvaděčů nn. Tento problém úzce souvisí s návrhem a konstrukcí samotného rozvaděče. Proto se v této diplomové práci budu věnovat jak faktorům, které se podílejí na oteplování, tak na technologii výroby rozvaděčů nn. V praktické části pak pomocí termokamery provedu měření, kterým nasnímám tyto tepelné ztráty.

Klíčová slova

Tepelné ztráty, elektrický proud, rozvaděč nn, termokamera, proudovodná dráha, konstrukce, emisivita, krytí IP.

Abstract

The goal of this thesis is familiar with the problems associated with the warming of electrical appliances, a low voltage switchboards. This problem is closely related to the design and construction of the switchboard itself. Therefore, in this thesis, I will devote as factors that contribute to warming, and on the technology of low voltage switchboards. In the practical part, using the thermal camera, I will measure the heat losses.

Key Words

Heat losses, electric current, low-voltage switchboards thermal imager current path, structure, emisivity, IP protection.

Seznam použitých symbolů

P_j	Tepelný výkon	(W)
P_r	Výkon vyzářený radiací	(W)
R	Elektrický odpor	(Ω)
I	Elektrický proud	(A)
R_T	Odpor při skutečné hodnotě	(Ω)
R_{20}	Odpor při teplotě 20 °C	(Ω)
T	Termodynamická teplota	(K)
T_T	Teplota okolí	(°C)
T_{20}	Teplota vodiče	(°C)
T_o	Intenzita vyzařování šedého tělesa	(W/m ²)
M	Celková intenzita vyzařování černého tělesa	(W/m ²)
M_o	Plocha zdroje záření	(W/m ²)
S	Stefan-Boltzmannova konstanta	(m ²)
σ		(Wm ⁻² K ⁻⁴)
ε	Koeficient emisivity tepelného záření	(-)
ϕ	Zářivý tok	(W)
α	Teplotní součinitel odporu	(K ⁻¹)
$MTBF$	Střední doba mezi poruchami	(s)

Seznam obrázků

Obrázek 2 Štítek hlavního rozvaděče nn.....	30
Obrázek 3 Krytý rozvaděč nn na fakultě FEI.....	30
Obrázek 4 Reálný snímek Kobka 2	31
Obrázek 5 Termovizní snímek Kobka 2	31
Obrázek 6 Reálný snímek Kobka 2 - kompenzační kondenzátory.....	32
Obrázek 7 Termovizní snímek Kobka 2 - kompenzační kondenzátory.....	32
Obrázek 8 Reálný snímek Kobka 3	33
Obrázek 9 Termovizní snímek Kobka 3	33
Obrázek 10 Reálný snímek Kobka 2 - transformovna část 1	34
Obrázek 11 Termovizní snímek Kobka 2 – transformovna část 1	34
Obrázek 12 Reálný snímek Kobka 2 transformovna část 2	35
Obrázek 13 termovizní snímek Kobka 2 transformovna část 2	35
Obrázek 14 Reálný snímek transformátoru rozvodny	36
Obrázek 15 Termovizní snímek transformátoru rozvodny	36
Obrázek 16 Reálný snímek Kobka 7 hl. rozvodna NN.....	37
Obrázek 17 Termovizní snímek Kobka 7 hl. budova NN.....	37
Obrázek 18 Reálný snímek Kobka 13 hl. rozvodna NN.....	38
Obrázek 19 termovizní snímek Kobka 13 hl. rozvodna NN	38
Obrázek 20 Reálný snímek Kobka 1 rozvodna budovy A.....	39
Obrázek 21 Termovizní snímek Kobka 1 rozvodna budovy A.....	39
Obrázek 22 Reálný snímek Kobka 3 budova A	40
Obrázek 23 Termovizní snímek Kobka 3 budova A	40
Obrázek 24 Reálný snímek Kobka 2 budova A	41
Obrázek 25 Termovizní snímek Kobka 2 budova A	41
Obrázek 26 Reálný snímek Kobka 3 budova A	42
Obrázek 27 Termovizní snímek Kobka 3 budova A	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 Součinitel soudobosti.....	12
Tabulka 2 Normalizované průřezy pro hodnoty zkušebního proudu do 400 A	13
Tabulka 3 Normalizované průřezy pro hodnoty zkušebního proudu nad 400 A do 3150 A ...	14
Tabulka 4 Meze oteplení.....	15
Tabulka 5 Povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti.....	19
Tabulka 6 Minimální a maximální průřezy vodičů vhodných pro rozvaděče.....	20
Tabulka 7 Vlastnosti materiálů.....	29

Seznam grafů

Graf 1 Závislost počtu cyklů na počet prvků.....	24
--	----

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1	Tepelné účinky elektrického proudu.....	10
2.1.1	Zkouška oteplení.....	11
2.2	Rozvaděče nn.....	17
2.2.1	Mechanické provedení	17
2.2.2	Zásady pro konstrukci rozvaděčů	18
2.2.3	Vzdušné vzdálenosti a povrchové cesty.....	18
2.2.4	Svorky pro připojení vnějších vodičů	19
2.2.5	Krytí a kryty	20
2.3	Vnější vlivy	21
2.3.1	Rozvaděče umístěné v prostředí.....	21
2.3.2	Pracovní podmínky	23
2.3.3	Rozvaděče pro vnitřní a venkovní instalaci	23
2.3.4	Nadmořská výška	23
2.4	Spolehlivost a životnost rozvaděče.....	24
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	28
3.1	Princip měření	28
3.1.1	Funkce termokamery	29
3.1.2	Měření	30
4	ZÁVĚR	43

1 ÚVOD

Tepelné ztráty se vyskytují u každého rozvaděče. Příčinou, proč vznikají, je elektrický odpor proudových obvodů, kterými prochází elektrický proud. Výsledkem je, že vzroste teplota na jednotlivých prvcích proudové dráhy. Rozdílná teplota mezi vnitřním prostorem a okolím kolem rozvaděče vyvolá přestup tepla a vnitřní teplota narůstá. Úkolem projektanta je navrhnout rozvaděč, ve kterém se rozloží teplota tak, aby se v provozním režimu nepřekročily dané meze teplot dílčích částí rozvaděče. Cílem diplomové práce je popsat zmíněnou problematiku a faktory, které mají na ni vliv.

Diplomová práce je rozdělena na dvě části, a to část teoretickou a praktickou. V teoretické části se zabývám tepelnými účinky elektrického proudu, vnějšími vlivy, spolehlivostí a životností rozvaděčů. Dále detailně popisuji rozvaděče nn. V praktické části jsem měl za úkol změřit rozvaděč nn a jeho části pomocí termokamery. Cílem bylo prokázat tepelné ztráty při chodu rozvaděče nn a srovnat je s mezemi teplot.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Tepelné účinky elektrického proudu

Průchodem elektrického proudu vodičem se uvolňuje teplo, které je dáno tepelným výkonem procházejícího proudu vodičem. Velikost tohoto výkonu je úměrná druhé mocnině procházejícího proudu. [1]

$$P_j = R \cdot I^2$$

Tepelný výkon má největší vliv na oteplení vodiče a označujeme jej jako Jouleovy ztráty. Tyto ztráty vznikají průchodem střídavého elektrického proudu. V katalogích lze najít hodnoty elektrického odporu vztažené na referenční teplotu 20 °C. Odpor kovů s rostoucí teplotou stoupá a je ovlivněn použitým materiálem. Okolní teplota bývá často odlišná od referenční teploty. Proto je potřeba přepočítat referenční hodnotu odporu na skutečný odpor, který je vztažen k reálné teplotě okolí. [1]

Rovnice pro skutečný odpor:

$$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_T - T_{20}))$$

Teplotní součinitel odporu pro měď je $\alpha_{cu} = 3,92 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. Hliník $\alpha_{Al} = 3,77 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. Na vodič působí ještě další vlivy, které ovlivňují jeho výslednou teplotu. Mezi ně patří výkon dodaný sluncem nebo výkon odvedený konvekcí a radiací. [1]

Výkon, který je dodaný sluncem stejně jako jouleovy ztráty přispívá k celkovému oteplení vodiče. Opačně funguje odvedený výkon. Ten odvádí teplo do objemu vodiče nebo do jeho okolí. Při sdílení tepla prouděním (konvekcí) dochází k výměně tepla mezi vodičem a okolním vzduchem. Ten se ohřívá, zvětšuje svůj objem a tím i zmenšuje hustotu. Stává se tak lehčí než okolní studený vzduch a díky vztlaku stoupá vzhůru. Chladnější vzduch se dostane do kontaktu s vodičem a celý postup se opakuje. V atmosféře se uplatňuje také princip nuceného proudění, tzn., že je proud vzduchu vyvolán větrem a chlazení je účinnější. Radiace tepla se mezi předmětem a jeho okolím přenáší sáláním, nebo také tepelným zářením zprostředkovaným elektromagnetickými vlnami. [1]

Vyzářený výkon se podle literatury určí jako:

$$P_r = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S(T_o^4 - T_T^4)$$

Hodnota Stefan-Boltzmanovy konstanty je $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Zahrnuje koeficient emisivity pro vodiče 0,5, jak je dáno normou. Vedení se dimenzuje na maximální provozní teplotu, při které je zaručena správná funkčnost a životnost izolace, jelikož je na vysoké teploty velmi náchylná. Množství tepla vyvinuté v materiálu vodiče je v ustáleném stavu stejně velké jako množství tepla odevzdané do okolního prostředí. Aby nedošlo k překročení teploty, jmenovitý proud kabelu o daném průřezu musí být vyšší, než dovolený zatěžovací proud přepočtený na referenční hodnotu teploty a respektující uložení. [1]

2.1.1 Zkouška oteplení

Zkouška oteplení určuje, zda nejsou překročeny meze oteplení v různých částech rozvaděče. Většinou se provádí jmenovitými hodnotami elektrického proudu. Používají se odporová tělesa s ekvivalentními výkonovými ztrátami. Je povoleno zkoušet dílčí části rozvaděče za předpokladu, že je zaručena věrohodnost příslušné zkoušky. Zkouška musí být provedena takovým proudem a kmitočtem, na který je rozvaděč konstruován. Zkušební napětí musí být takové, aby obvodem protékal stanovený elektrický proud. Cívky relé a stykačů, spouště apod. musí během zkoušky být napájeny jmenovitým napětím. Nekryté rozvaděče nemusí být podrobeny oteplovací zkoušce. Pokud je z typových zkoušek zřejmé, že jednotlivé části a rozměry vodičů jsou uspořádány tak, aby nedošlo k nadměrnému oteplení. [2]

2.1.1.1 Uspořádání vodiče

Důležité je uspořádání rozvaděčů jako při normálním provozu. Kryty a ostatní části musí být správně upevněny. Při zkouškách jednotlivých částí nebo konstrukčních jednotek musí vytvářet přilehlé části nebo jednotky stejné teplotní podmínky, jako při běžném provozu. Přitom je možno použít topných rezistorů. [2]

2.1.1.2 Zkouška oteplení průchodem proudu všemi přístroji

Zkouška se musí provést na jedné nebo více obvyklých kombinacích obvodů. Pro tyto kombinace je rozvaděč určen tak, aby s dostatečnou přesností dosáhl nejvyššího možného

oteplení. Při této zkoušce je každý obvod zatížen jmenovitým proudem násobený součinitelem soudobosti. Součinitel vyjadřuje u rozvaděče nebo jeho části poměr největšího součtu proudů všech hlavních obvodů v jednom časovém okamžiku k součtu jmenovitých proudů všech hlavních obvodů rozvaděče. Stanoví-li výrobce součinitel soudobosti, použije se tento součinitel pro zkoušku oteplení. [2]

Tabulka 1 Součinitel soudobosti

Počet hlavních obvodů	Součinitel soudobosti
2 a 3	0,9
4 a 5	0,8
6 až 9 (včetně)	0,7
10 a více	0,6

Pro částečné typové zkoušky se používá součinitel soudobosti vždy „1“, jestliže není řečeno jinak. Pokud jsou součástí rozvaděče pojistky, musí být opatřeny tavnými vložkami určenými výrobcem. Výkonové ztráty tavných vložek použitých při zkoušce musí být udány v protokolu. Zkouška obvykle nepřesahuje 8 hodin. Doba je dostatečná k tomu, aby oteplení dosáhlo ustálené teploty. Tato podmínka se prakticky považuje za splněnou, když změna oteplení nepřesáhne 1 °C/h. [3]

Pro hodnoty zkušebního proudu do 400 A: vodiče musí být jednožilové měděné kabely nebo izolované dráty průřezu, viz Tabulka 2. Zároveň by měli být volně uloženy ve vzduchu. Minimální délka každého zkušebního připojovacího vodiče mezi svorkami zdroje a zkoušeného rozvaděče musí být 1 m pro průřezy do 35 mm² a 2 m pro průřezy větší než 35 mm². [3]

Tabulka 2 Normalizované průřezy pro hodnoty zkušebního proudu do 400 A

Rozsah zkušebního proudu (A)		Průřez (mm ²)	Doporučené hodnoty jmen. proudu (A)		
od	do				
0	7,9	1		6	
7,9	15,9	1,5	8	10	12
15,9	22	2,5	16		20
22	30	4		25	
30	39	6		32	
39	54	10	40		50
54	72	16		63	
72	93	25		80	
93	117	35		100	
117	147	50		150	
147	180	75		160	
180	216	95		200	
216	250	120		250	
250	287	150		-	
287	334	185		315	
334	400	240		400	

Pro hodnoty zkušebního proudu nad 400 A do 800 A: propojení musí být vždy provedeno jednožilovými měděnými vodiči nebo kabely s izolací PVC, viz Tabulka 3. Minimální délka přívodního zkušebního vodiče ke zkušebnímu napájecímu zdroji pro jedнопólové nebo vícepólové zkoušky musí být 2 m. Minimální délka k uzlu může být snížena na 1,2 m. [3]

Pro hodnoty zkušebního proudu od 800 A do 3150 A: výhradně pro měděné pásy pokud výrobce neudává jinak. Minimální délka přívodního zkušebního vodiče ke zkušebnímu napájecímu zdroji pro jedнопólové nebo vícepólové zkoušky musí být 3 m. Minimální délka k uzlu může být snížena na 2 m. [3]

Tabulka 3 Normalizované průřezy pro hodnoty zkušební proudů nad 400 A do 3150 A

Hodnoty jmen. proudu (A)	Rozsah zkušeb. proudu (A)	Zkušební vodič (přívod)			
		kabel		Měděné pásy	
		počet	Průřez (mm ²)	počet	Rozměry (mm)
500	400 až 500	2	150	2	30 x 5
630	500 až 630	2	185	2	40 x 5
800	630 až 800	2	240	2	50 x 5
1000	800 až 1000			2	60 x 5
1250	1000 až 1250			2	80 x 5
1600	1250 až 1600			2	100 x 5
2000	1600 až 2000			3	100 x 5
2500	2000 až 2500			4	100 x 5
3150	2500 až 3150			3	100 x 10

Pro hodnoty zkušební proudů nad 3150 A: všechny důležité detaily zkoušky, jako je druh napájecího zdroje, počet fází, kmitočty, průřezy zkušebních vodičů, musí být uvedeny v dohodě mezi výrobcem a odběratelem. Tyto informace musí obsahovat protokol o zkoušce. [3]

2.1.1.3 Zkouška oteplení s použitím topných rezistorů o ekvivalentních výkonových ztrátách

U krytých rozvaděčů tvořící hlavní, řídicí a pomocné obvody, které mají relativně malé jmenovité proudy, mohou být výkonové ztráty simulovány pomocí topných rezistorů. Vytvářejí stejné množství tepla a jsou umístěny na vhodných místech uvnitř rozvaděče. Průřezy připojovacích vodičů k těmto rezistorům musí být takové, aby nedocházelo k zásadnímu odvodu tepla z prostoru uvnitř rozvaděče. Zkouška s topnými rezistory je dostatečně průkazná pro všechny rozvaděče, které mají stejné krytí i v případě, že disponují jinými přístroji. Důležitým předpokladem je, že celkové výkonové ztráty zabudovaných přístrojů s odpovídajícím součinitel soudobosti proudového zatížení nepřekročí hodnotu použitou při této zkoušce. Oteplení zabudovaných přístrojů nesmí přesáhnout hodnoty, viz Tabulka 4. [2]

Tabulka 4 Meze oteplení

Část rozvaděče	Oteplení (°C)
Zařízení vestavěné do rozvaděče	V souladu s příslušnými požadavky pro jednotlivé zařízení: <ul style="list-style-type: none"> - Předmětové normy - Normy technické specifikace výrobce
Svorky pro připojení izolovaných vodičů	70
Přípojnice a vodiče, Výsuvné kontakty výsuvných nebo odnímatelných částí připojených k přípojnícím	Omezeno: <ul style="list-style-type: none"> - Mechanickou odolností vodivých materiálů - Možným působením na sousední zařízení - Působení teploty vodičů na přístroje k nim připojené - U výsuvných kontaktů, druhem a způsobem povrchové úpravy kontaktního materiálu
Ručně ovládané součásti: <ul style="list-style-type: none"> - Kovové - Z izolačního materiálu 	15 25
Přístupné vnější kryty: <ul style="list-style-type: none"> - S kovovým povrchem - S izolačním povrchem 	30 10
Skryté (nepřístupné) Výsuvné kontakty	Určeno dovořeným mezním oteplením přístrojů, ke kterému kontakty patří

2.1.1.4 Měření teplot

Pro měření teplot se využívají termočlánky nebo teploměry. Pro měření teploty ve vinutí se často používá metoda založená na změně elektrického odporu vinutí s teplotou. U měření teploty vzduchu uvnitř rozvaděče se musí na vhodných místech rozmístit několik měřicích přístrojů. Teploměry nebo termočlánky musí odolávat proudění vzduchu a tepelnému sálání. [2]

2.1.1.5 Teplota okolí

Teplota vzduchu v okolí se měří během poslední čtvrtiny zkušební doby nejméně dvěma teploměry nebo termočlánky. Ty musí být rovnoměrně rozmístěné kolem rozvaděče a přibližně v polovině jeho výšky, ve vzdálenosti asi 1 m od rozvaděče. Rozmezí teploty se pohybuje od 10 °C do 40 °C. Je-li teplota mimo rozmezí, musí být vypracována zvláštní dohoda mezi výrobcem a odběratelem. [2]

2.1.1.6 Výsledky zkoušky

Po zkoušce nesmí oteplení (tj. rozdíl mezi teplotou přístroje a teplotou okolí vevnitř rozvaděče) přesáhnout tyto hodnoty:

Ručně ovládané části:

- Kovové 15 °C
- Z izolačního materiálu 25 °C

Ovládací ústrojí uvnitř rozvaděče, které je přístupné až po otevření a které je řízeno nepravidelně, může mít oteplení vyšší.

- Kovové 30 °C
- Z izolačního materiálu 40 °C

U krytů, který je přístupný a za běžného provozu není nutno dotýkat. Je povoleno oteplení o 10 % vyšší.

- Svorky pro připojování izolovaných vnějších vodičů 45 °C

Holé vodiče:

- Hliník a jeho slitiny 85 °C
- U mědi a jejich slitin může být provozní teplota i vyšší než 85 °C

Jádra izolovaných vodičů:

- AG, AGY apod. 60 °C
- Y, AY, SY apod. 65 °C

Výsuvné kontakty:

- Měděné 50 °C
- Měděné posříbřené 60 °C

Zařízení vestavěná do rozvaděčů (spínací, řídicí a pomocné přístroje, elektronické přístroje atd.)

V souladu s požadavky příslušných předmětných norem, technických podmínek apod. Uvedené hodnoty oteplení, resp. Provozní teploty jsou mezní, pokud se pohybuje teplota okolí rozvaděče během zkoušky v rozmezí 10 až 40 °C. Přístroje musí při teplotě, která je uvnitř rozvaděče, spolehlivě pracovat v rozsahu napěťových mezí, které jsou pro ně předepsány. [2]

2.2 Rozvaděče nn

Jednou z nejdůležitějších součástí elektrických zařízení jsou rozvodná zařízení. Provádí jištění a rozvod vedení, ve kterém jsou přístroje k měření, kontrole i ovládání. Rozvaděč musí splňovat základní požadavky kladené na bezpečnost. Musí být proto zajištěno krytí splňující normy dle prostředí, ve kterém bude obsluhován. Rozvaděč je kombinací jednoho ne více spínacích přístrojů s přidruženým řídícím, měřícím, signalizačním, ochranným, regulačním zařízením. Vzhledem ke konkurenci trhu si dnes každá firma dbá na svoji technologii výroby, design a provedení rozváděčů. [4]

Můžeme dělit podle:

Vnější konstrukce: *krytý rozvaděč* se skládá z nosné konstrukce, která nese elektrické zařízení. Živé části jsou přístupny dotyku. Krytí bývá obvykle IP00. *Panelový rozvaděč* je nekrytý rozvaděč s krytem pouze na přední části, který má ochranu IP20 a boční a zadní strana má krytí IP00. *Krytý rozvaděč* ze všech stran ochranou IP20. *Skříňový rozvaděč* se skládá z několika polí, většinou není na zdi, ale stojí na zemi. *Skříňový stavebnicový rozvaděč* tvoří několik mechanicky propojených skříní. *Pultový rozvaděč* má šikmý nebo vodorovný ovládací panel, který disponuje signalizačními, ovládacími a měřicími funkcemi. *Stavebnicová sestava rozvodnic* je mechanicky a elektricky propojena mezi sousedními rozvodnicemi pomocí otvorů v přilehlých stěnách. [5]

Další dělení podle *místa instalace* na vnitřní a venkovní instalace. *Dle způsobu montáže a mobility* na nepřenosný a přenosný rozvaděč. Nejčastější typy *krytí IP* – IP21, IP43, IP53, IP65. *Podle druhu krytu* – kovové, plechové, litinové, hliníkové, izolační. *Dle vybavení* na elektroměrové, zásuvkové, přípojnicové, s pojistkami, s jističi, s vypínači, s volitelnou náplní. [5]

Podle způsobu provedení přívodů a vývodů vrchem nebo spodem. Poslední dělení *podle účelu použití* – průmyslové, bytové, elektroměrové, pro občanskou výstavbu, elektrorozvodná jádra, přípojkové skříně, rozpojovací a jistící skříně, přístrojové, staveništní. [5]

2.2.1 Mechanické provedení

Rozvaděče musí být vyrobeny pouze z materiálů schopných odolávat mechanickým, elektrickým a tepelným namáháním současně i účinkům vlhkosti, které se pravděpodobně vyskytnou v běžném provozu. Ochrana proti korozi musí být zajištěna použitím vhodných

materiálů nebo aplikací ekvivalentních ochranných vrstev na nechráněný povrch se zřetelem na předpokládané podmínky použití a údržby. Jednotlivé obvody musí být navrženy tak, aby v celém rozsahu pracovních podmínek nepotřebovaly žádný vnitřní zdroj tepla. V případech, kdy je potřeba pro temperování některé části rozvaděče využít topidel, musí být rozvaděč konstruován tak, aby elektrická práce potřebná pro spolehlivý provoz byla co nejmenší. Všechna krytí nebo mezistěny včetně prostředků pro blokování dveří, výsuvných částí atd. musí mít dostatečnou mechanickou pevnost. Slouží k odolávání namáhání, kterému mohou být vystaveny v běžném provozu. Přístroje a obvody v rozvaděči musí být uspořádány tak, aby se usnadnilo jejich ovládání. Při údržbě musí být zajištěna nezbytná bezpečnost. [3]

2.2.2 Zásady pro konstrukci rozvaděčů

Při konstruování rozvaděčů se doporučuje uplatňovat zásadu jednotlivých zařízení (přístrojů, svorek a dalších předmětů) do funkčních jednotek a celků, které budou tvořit samostatné konstrukční bloky. Tyto bloky budou jednotlivě dle potřeby připojovány k přípojnicovému systému, jež budou v rozvaděči tvořit samostatné bloky. Tato koncepce návrhu je vhodná téměř pro každý typ rozvaděče. [2]

2.2.3 Vzdušné vzdálenosti a povrchové cesty

Přístroje tvořící součást rozvaděče musí mít vzdálenosti odpovídající požadavkům příslušných specifikací a tyto vzdálenosti musí být zachovány v normálních pracovních podmínkách. Při uspořádání přístrojů v rozvaděči musí být dodrženy specifikované povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti nebo impulsní výdržná napětí se zřetelem na příslušné pracovní podmínky. U holých živých vodičů a ukončení (např. přípojnice, spoje mezi přístroji, kabelová oka) musí povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti nebo impulsní výdržná napětí odpovídat nejméně vzdálenostem předepsaným pro přístroje, se kterými vodiče bezprostředně souvisejí. Mimořádné podmínky, jako je zkrat, nesmí trvale snížit vzdušné vzdálenosti nebo dielektrickou pevnost mezi přípojnici a jinými spoji, než jsou kabely. Nesmí dojít ke snížení pod hodnoty stanovené pro přístroje, se kterými jsou bezprostředně spojeny. Povrchové cesty dvojité izolace jsou součtem základní a přídavné izolace, které tvoří systém dvojité izolace. Povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti pevně namontovaných živých částí musí odpovídat nejméně vzdálenostem uvedených v tabulce. [2]

Tabulka 5 Povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti

Jmenovité napětí (V) do (včetně)		Nejmenší vzdušné vzdálenosti živých částí navzájem a proti uzemněným vodivým částem (mm)		Vzdušné vzdálenosti živých částí od vodivého krytu (mm)	Povrchové cesty (mm)	
=	~	Vnitřní provedení	Venkovní provedení		a	b
110	127	6	100	6	2,5	3,5
250	250	8	100	8	4	6
440	380	10	100	10	4	6
600	500	10	100	10	6	10

a – Hodnoty platí pro ověřené izolanty

b – Hodnoty platí pro neověřené izolanty

2.2.4 Svorky pro připojení vnějších vodičů

Výrobce je povinen uvést, zda jsou svorky vhodné pro připojení měděných nebo hliníkových vodičů nebo vodičů z obou materiálů. Svorky musí umožňovat připojení vnějších vodičů takovými prostředky (šrouby, konektory), které zajišťují zachování potřebného kontaktního tlaku odpovídajícího jmenovitému proudu a zkratové odolnosti přístroje a obvodu. Svorky musí umožnit připojení měděných vodičů a kabelů v rozsahu od nejmenších do největších průřezů odpovídajících příslušnému jmenovitému proudu. Požadavky na maximální a minimální průřezy měděných vodičů, lze nalézt v ČSN EN 61439-1 ed.2. Pokud není mezi výrobcem a uživatelem dohodnuto jinak, musí svorky pro střední vodič ve třífázových obvodech se středním vodičem umožňovat připojení měděných vodičů, které mají proudovou zatížitelnost. Svorky uvnitř rozvaděče se značí dle požadavků ČSN EN 60445 ed.3. Se značením svorek bývají obecně v systému elektrické instalace problémy. Rozdíl není ani u rozvaděčů nn. Nejčastějším způsobem označování svorek je použití barevného kódu. Dále lze použít grafické značky či písmeno, číslicového zápisu. Vždy výše uvedená značení musí být umístěna na příslušné svorce. Značení musí být provedeno tak, aby nebyla možná záměna. [3]

Tabulka 6 Minimální a maximální průřezy vodičů vhodných pro rozvaděče

Jmenovitý proud (A)	Tuhý vodič Průřez (mm ²)		Ohebný vodič Průřez (mm ²)	
	Min.	Max.	Min.	Max.
6	0,75	1,5	0,5	1,5
8	1	2,5	0,75	2,5
10	1	2,5	0,75	2,5
12	1	2,5	0,75	2,5
16	1,5	4	1	4
20	1,5	6	1	4
25	2,5	6	1,5	4
32	2,5	10	1,5	6
40	4	16	2,5	10
63	6	25	6	16
80	10	35	10	25
100	16	50	16	35
125	25	70	25	50
160	35	95	35	70
200	50	120	50	95
250	70	150	70	120
315	95	240	95	185
400	150	240 2 x 150		
500	185 2 x 120	240 2 x 185		
630	2 x 150	2 x 240		
800	2 x 185	2 x 240		
1000	2 x 240	Ploché vodiče		

2.2.5 Krytí a kryty

Krytí se u rozvaděčů používá jako ochrana před dotykem živých částí nebo ochrana před pohybujícími se částmi, kde vznikají cizí tělesa (částice prachu) a kapalin. Označujeme na štítku a v dokumentaci symbolem IP XX podle normy ČSN EN 60 529. U rozvaděčů pro vnitřní instalaci, kde nemusí být ochrana před vniknutím vody, používáme nejčastěji krytí IP 21, IP 31, IP 32, IP 42, IP 43, IP 54, IP 55, IP 65. Pro rozvaděče venkovního provedení, kde není doplňující ochrana (přístřešek), musí být druhá číslice nejméně stupně 3. Krytí, které udává výrobce, platí pro celý rozvaděč, pokud je instalován v souladu s předpisem výrobce. Pokud některá z částí má jiný stupeň krytí (např. přední stěna), je výrobce povinen tuto část označit stupněm krytí zvlášť. Je-li v prostoru, kde je rozvaděč instalován, vysoká vlhkost s možnými

výkyvy teplot, musí být ošetřen vhodným opatřením (ventilace, vnitřní vytápění apod.). Tím zabrání škodlivé kondenzaci vody uvnitř rozvaděče. [6]

2.3 Vnější vlivy

Základním předpokladem správného návrhu či posouzení elektroinstalace je definování vlivu okolí a jeho možné ovlivnění elektrickým zařízením této elektroinstalace. Vnější vlivy charakterizují jednotlivé prostory z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem nebo elektrickým či elektromagnetickým polem. K ochraně před úrazem elektrickým proudem slouží třídění vnějších vlivů. Každý stupeň vnějšího vlivu je kódován dvěma písmeny velké abecedy a číslicí. První písmeno označuje všeobecnou kategorii vnějšího vlivu. A – vnější činitel prostředí (dále jen prostředí), B – využití, C – konstrukce budovy. Správné určení vnějších vlivů je základem pro odpovídající návrh, zhotovení a revizi elektroinstalace. Při výchozích, pravidelných a mimořádných revizích se vychází z požadavků na elektroinstalaci z dokumentů o určení vnějších vlivů v době provedení této elektroinstalace. O určení vnějších vlivů a o opatřeních, která určené vnější vlivy podmiňují, musí být písemný doklad, protokol o určení vnějších vlivů. Protokol je součástí dokladové části dokumentace, která musí být po dobu životnosti zařízení, provozu či objektu uložena a předkládána při periodických či jiných revizích elektrického zařízení. ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 předepisuje základní podmínky pro výběr a stavbu elektrických zařízení. V protokolu je možné volit ze dvou způsobů uvedení vnějších vlivů. Za prvé uvést všechny vnější vlivy uvedené v normě, včetně těch, které jsou považovány za normální. Nebo uvést vnější vlivy, které se v daném prostoru nevyskytují s příslušnou poznámkou (např. nevyskytuje se) a vnější vlivy ve sledovaném prostoru, které nejsou v souladu s normou považovány za normální. Ostatní shrnout do konstatování: „Všechny ostatní vnější vlivy jsou v souladu s ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 považovány za normální.“ [7]

2.3.1 Rozvaděče umístěné v prostředí

V základním prostředí z hlediska vlivu prostředí na vnitřní vybavení rozvaděče není krytí stanoveno. Z hlediska kvalifikace pracovníků, kteří obsluhují rozvaděč, je krytí stanoveno na nejméně IP 2X. [8]

Aktivní prostředí

Rozvaděč umístěný v prostorách se *studeným prostředím* je nezbytné, aby elektrické předměty tvořící náplň rozvaděče vyhovovaly svým provedením nízkým teplotám, které mohou v tomto

prostoru nastat. V případech, kdy nejsou vhodné přístroje k dispozici, musí být prostor rozvaděče temperován. Krytí rozvaděče musí být nejméně IP 2X. [8]

Jsou-li rozvaděče v *prostředích horkých*, musí mít krytí alespoň IP 20 a musí být chráněny proti sálavému teplu. Zvlášť pak jistící přístroje by měli být umístěny mimo horké prostředí. Jestliže se v tomto prostředí nachází, musíme přihlídnout ke změně vypínací charakteristiky. [8]

Ve *vlhkém prostředí* krytí rozváděčů musí být nejméně IP 21, nebo musí být chráněno před kapající vodou. V případech, kdy by při úklidu nebo při mimořádných provozních podmínkách mohlo dojít k zasažení stříkající vodou, musí být krytí minimálně IP 44 nebo musí být zajištěno dodatečná ochrana. [8]

Je zakázáno instalovat rozvaděče vn a hlavní rozvaděče nn *mokrém prostředí*. Podružné rozvaděče se musí umístit tak, aby rozvaděč ani manipulační prostory nemohly být zasaženy vodou. Pokud existuje nebezpečí kondenzace vodních par, je nezbytné provést taková opatření (větrání, vytápění), aby prostředí v rozvaděčích bylo vyhovující pro zařízení instalovaná uvnitř. Krytí rozvaděče musí být alespoň IP 43 nebo vyšší. Rozvaděče mají konstrukci z nevodivých a koroze odolných materiálů. [8]

Do prostředí se *zvýšenou až extrémní korozní agresivitou* by se měli rozvaděče instalovat pouze v nejnutnějších případech. Je-li v takových to případech rozvaděč instalován, musí být zajištěno provětrávání čistým vzduchem. Minimální krytí musí být IP 44. Krytí IP 5X je přípustné tam, kde není nebezpečí zásahem agresivních kapalin. Zvlášť citlivé přístroje musí být hermetizovány a musí mít krytí IP 66. [8]

V *prašném prostředí* s prachem nehořlavým musí být krytí nejméně IP 44 nebo IP 5X. Při nižším krytí musí být větráno čistým vzduchem. V *prostředí s otřesy* musí být konstruovány jistící, měřící a jiné citlivé přístroje jako otřesuvzdorné. *Prostředí s biologickými škůdci*: minimální krytí IP 4X. Doporučuje se krytí IP 43. U skříňových rozváděčů musí být vstupy kabelů do rozvaděče řádně utěsněny. [8]

Pasivní prostředí

Prostředí s nebezpečím požáru hořlavých hmot: rozvaděče vn hlavní rozvaděče nn jsou v tomto prostředí zakázány. Podružné rozvaděče musí být umístěny tak, aby nikdy nemohly být zasypány hořlavými hmotami a aby byl vždy dodržen mezi nimi manipulační prostor. Krytí

musí být alespoň IP 4X. Přednostně se používají nástěnné rozvaděče s krytím IP43. Skříňové rozvaděče s IP 4X musí být usazeny na nehořlavých základech alespoň 10 cm vysokých. [8]

Prostředí s nebezpečím požáru hořlavých prachů: rozvaděče vn hlavní rozvaděče nn jsou v tomto prostředí zakázány. Podružné rozvaděče musí mít krytí IP 44 nebo IP 5X. Krytí lze snížit, pokud je bezpečnost zajištěna jinak (trvalá obsluha, pravidelné čištění). Kryt na rozvaděči musí být z nehořlavého nebo samozhášivého materiálu. [8]

Prostředí s nebezpečím požáru hořlavých kapalin: minimální krytí IP 21 a musí se umisťovat tak, aby nedošlo zásahem hořlavou kapalinou. Tam, kde není možno dodržet tuto podmínku, musí mít rozvaděč krytí minimálně IP 43. [8]

2.3.2 Pracovní podmínky

Rozvaděče v normálních pracovních podmínkách, jsou definovány podle normy ČSN EN 61439-1. Pokud součásti daných rozvaděčů nejsou konstruovány pro dané podmínky, je třeba zajistit vhodná opatření pro jejich funkci. Odběratel je povinen informovat o výskytu zvláštních pracovních podmínek a projednat odstranění nežádoucího vlivu prostředí. Tato povinnost odpadá, objedná-li odběratel vhodný a vyhovující typ rozvaděče podle katalogu nebo technických podmínek výrobce. [9]

2.3.3 Rozvaděče pro vnitřní a venkovní instalaci

Vnitřní instalace: teplota okolí nepřekročí 40 °C a její průměr během 24 hodin nepřekročí 35 °C. Spodní hranice teploty okolního vzduchu neklesne pod – 10 °C. Vzduch je čistý a jeho relativní vlhkost nepřesáhne 50 % při nejvyšší teplotě 40 °C. Větší relativní vlhkost je dovolena při nižších teplotách, např. 90 % vlhkost při teplotě 20 °C. [2]

Venkovní instalace: teplota okolí nepřekročí 40 °C a její průměr během 24 hodin nepřekročí 35 °C. Spodní hranice teploty okolního vzduchu pro mírné klima je – 30 °C a pro arktické – 50 °C. Relativní vlhkost se může blížit k 100 % při nejvyšší teplotě 25 °C. Pro technické účely se průměrná teplota stanoví během 24 hodin a to v časech 7:00, 14:00 a dvakrát ve 21:00 hodin, kde hodnota v 21:00 má dvojnásobnou váhu, aby nebylo nutné měření provádět v noci. [2]

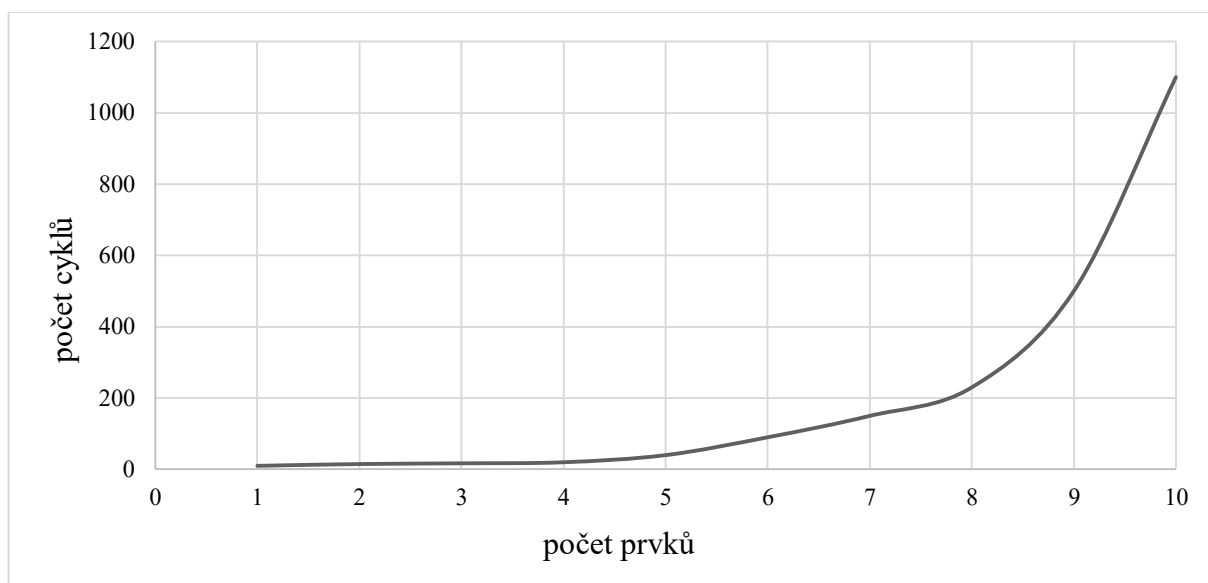
2.3.4 Nadmořská výška

Nadmořská výška provozu rozvaděče nepřesáhne 2000 m. Pro elektronická zařízení používaná v nadmořské výšce nad 1000 m je nutno brát v úvahu redukci dielektrické pevnosti a chladicího efektu vzduchu. Pro přístroje, které jsou navržena do 1000 m, je nezbytné použít redukce

proudového zatížení: -2 % při nadmořské výšce 1000 až 2000 m, -6 % při nadmořské výšce 2000 až 3000 m, -11 % při nadmořské výšce 3000 až 4000 m, -17 % při nadmořské výšce nad 4000 m. [2]

2.4 Spolehlivost a životnost rozvaděče

Rozvaděč je elektrické zařízení, které vykonává řadu jednoduchých i složitějších operací. Je složen z mnoha součástek, od řádových svorek až po inteligentní přístroje. Zkušenosti ukazují, že kritickým místem rozvaděčů z hlediska provozní spolehlivosti jsou výkonové kontaktní prvky a také komponenty využívající interní procesorové jednotky. Pro představu je viz Graf 1. [10]



Graf 1 Závislost počtu cyklů na počtu prvků

Již při tak malém počtu prvků (např. stykačů nebo relé) narůstá do velkých hodnot počet možných provozních stavů. Ve skutečnosti řada provozních stavů nenastane nebo na posuzování spolehlivosti nemají zásadní vliv. Při hodnocení provozní spolehlivosti řídicích rozvaděčů je reálných provozních stavů asi 50 % z teoretické hodnoty. Přesto je provozní spolehlivost kontaktních prvků (zejména těch výkonových) v rozvaděčích důležitá pro hodnocení celého rozvaděče. [10]

Výrobci kontaktních prvků uvádí údaje pro posouzení spolehlivosti ve svých katalozích. Zejména uvádí garantovaný počet provozních cyklů. Pro naše účely však mají větší přehlednost grafy v závislosti na velikosti a charakteru vypínacího proudu, případně teploty. Při modelaci spolehlivosti kontaktních prvků využíváme exponenciálního rozdělení. [10]

$$p = 1 - \frac{1}{MTBF}$$

V teorii se nesetkáme s pojmem „počet pracovních cyklů součástky“. Pro výpočet spolehlivosti je nutné znát frekvenci spínání kontaktního prvku pro popsání spolehlivosti v čase. Neuskutečnění přepnutí, selhání znamená vždy ztrátu napětí na zátěži. Nezbytnou úlohou projektanta je tedy výběr a správné dimenzování kontaktních prvků. V současnosti se tyto problémy eliminují velkým naddimenzováním. [10]

Revize velmi úzce souvisí se spolehlivostí. Mohou určit poruchy na rozvaděči již v začátku a předejít tak poškození zařízení. Při bezpečnosti je důležité, aby zařízení odpovídala příslušným ustanovením norem. Zařízení s napájením vyšším než 50 V ~ a 75 V = spadají do předmětu revizí a zkoušek. Jedná se o zařízení, které ohrožují lidské zdraví, majetek a také slouží pro ochranu před účinky atmosférické elektřiny. Revize se provádějí u silnoproudé elektroinstalace, elektrického ručního náradí a spotřebičů, hromosvodů, strojních zařízení, rozvaděčů. U rozvaděčů a strojů revize nazýváme zkoušky. [11]

Výchozí revize nová zařízení je možno uvést do provozu jen tehdy, byl-li jejich stav z hlediska bezpečnosti ověřen výchozí revizí. Zpráva o výchozí revizi musí být k dispozici po celou dobu provozu EZ. [11]

Pravidelná revize: lhůty pravidelných revizí instalace se musí určit podle druhu instalace a zařízení, jejího použití a způsobu provozu, četnosti a kvality údržby a s ohledem na vnější vlivy, kterým je instalace vystavena. Zpráva se musí uchovat alespoň do příští pravidelné revize. [12]

Mimořádná revize: není definována normou ČSN 33 1500, ale NV 378/2001. Její požadavek je vznesen při nedosažitelnosti zprávy o výchozí revizi, resp. pravidelné revizi a při pochybnostech o úrovni předchozí revize. [12]

Dokumenty v elektrotechnice

Výkresy – topografická, geometrická poloha, pravidla v normách Tabulky – řádky a sloupce, označení prezentované informace na každé stránce (např. závislosti, propojení a připojení – kabelů, konektorů atd.) Diagramy, grafy – poskytují informace pro pochopení funkce, chování, závislost na čase atd. [12]

Pracovní teplota vnitřního prostoru je nezbytným parametrem, který má velký vliv na spolehlivost a životnost rozvaděčů, především na kompenzační zařízení. Je ovlivněna teplotou okolního vzduchu a ztrátovým výkonem uvolněným použitými přístroji, spoji a vodiči. Ztrátový výkon na hradicích tlumivkách je důležitý v kompenzačních rozvaděčích. K rostoucímu ztrátovému výkonu dochází při velkém obsahu harmonických proudů. Celkové ztráty moderních kondenzátorů bývají 0,5 W/kvar. Nedůležitý není ani ztrátový výkon pojistkových patron. Výpočet ztrátového tepelného výkonu uvolňující se ze spojů v rozvaděči lze zjistit z odporu vodičů a proudů protékajících těmito spoji a vodiči. Hodnoty měrného odporu, rezistivity jsou uvedeny v katalogích výrobců pro teploty jádra 20 °C. Je nutné přepočítat hodnoty pro provozní teploty izolovaných vodičů a uvědomit si, že při používání vodičů s vyšší teplotou jádra jsou větší ztrátové výkony. Součtem všech ztrátových výkonů dojdeme k celkovému tepelnému výkonu uvolněnému v rozvaděči. Důležité je, aby při tomto výkonu nedošlo k nadměrnému oteplení vnitřního prostoru rozvaděče a následně k překročení provozní teploty, která je nezbytná pro správnou funkci přístrojů. Následkem zvýšení okolní teploty je poškození přístrojů či zkrácení jejich životnosti. Zkrácení životnosti se vyskytuje především u kondenzátorů, kdy vysoká teplota vede k haváriím až k vyhoření celého rozvaděče. [11]

Řešení odvodu ztrátového tepla z rozvaděčů

1. *Pasivním chlazením rozváděče* – ztrátový výkon je do okolí odváděn povrchem rozváděče. Je nutné zajistit dostatečnou plochu skříně, která bude ztrátové teplo z rozváděče odvádět, a dostatečný teplotní spád mezi vnitřním prostředím rozváděče a okolím. Nutná je i stabilní teplota okolí a malá relativní vlhkost. [11]

2. *Přírozenou ventilací* – jestliže požadovaná teplota v rozvaděči je alespoň o 5 °C vyšší než maximální teplota okolí. Řešení je použitelné pouze pro menší výkony, okolí nesmí být znečištěno prachem, plocha výstupního ventilačního otvoru musí být min. 1,1 násobkem plochy vstupního otvoru. [11]

V případě, kdy nelze tyto podmínky dodržet, může se v důsledku výkonových ztrát nadměrně zvýšit teplota vnitřního prostoru. Proto je nutné zajistit odvod tepla nucenou výměnou tepla mezi okolním prostředím a prostorem rozváděče. Tohoto lze dosáhnout použitím ventilátoru, výměníků nebo chladicí jednotky (klimatizace). Volba chladicího systému je dána požadovaným chladicím výkonem a rozdílem vnitřní teploty rozváděče a teploty okolí. [11]

3. *Nucenou ventilací* – teplota požadovaná uvnitř rozváděče je alespoň o 5 °C vyšší než maximální teplota vně rozváděče. Při menším rozdílu teplot se extrémně snižuje účinnost tohoto způsobu chlazení. Odvod tepla zajišťují ventilátory výměnou vzduchu mezi rozváděčem a okolním prostředím. Vhodným umístěním ventilátoru a rozmístěním zdrojů největších tepelných ztrát se docílí rovnoměrného rozložení teploty v celém objemu rozváděče. Přístroje jsou nucenou ventilací lépe ochlazovány a klesá riziko lokálního přehřátí. Výhodou tohoto řešení je příznivá cena. Nevýhodou je propojení vnějšího a vnitřního prostoru rozváděče a dále nutnost použít vstupní a výstupní prachové filtry a zajistit jejich včasnou výměnu nebo čištění. Pro maximální životnost přístrojů je doporučeno udržovat teplotu v rozváděči v rozmezích 10 až 40 °C a relativní vlhkost 30 až 90 %. Povrchová teplota vnitřní výzbroje rozváděče by neměla klesnout pod teplotu rosného bodu. V tomto případě je nutné použít topné těleso a příslušný termostat a hygroskop. Toto je aktuální zejména při venkovním použití. [11]

4. *Tepelnými výměníky vzduch – vzduch* – pracují na principu tepelné výměny na velké povrchové ploše stěn výměníku. Pracují s malou účinností. Výhodou je jejich spolehlivost a nenáročná údržba, která spočívá v pouhém čištění plochy určené k tepelné výměně. Oddělují vnitřní a vnější prostor rozváděče (zachovávají krytí IP). [11]

5. *Tepelnými výměníky vzduch – voda* – dosahují vyšší účinnosti oproti výměníkům vzduch-vzduch. Chladicí výkon je závislý na množství a teplotě protékající vody. 6. Chladicími jednotkami vzduch-chladicí médium-vzduch (klimatizací) – odvádějí velké množství ztrátového tepla a jsou použitelné i při vysokých teplotách okolí do 55 °C. Nevýhodou chladicích jednotek je vyšší cena. Dosahují velké účinnosti a jsou nenáročné na údržbu. Na vnitřních stranách rozváděče mohou kondenzovat vodní páry, takže musí být zajištěn odvod kondenzátu z rozváděče ven. Oddělují vnitřní a vnější prostor rozváděče a mají vysoký stupeň krytí. [11]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části je pomocí termokamery nasnímat rozvaděč nn a jeho součásti při provozním režimu. Cílem je interpretovat naměřené snímky a popsat vzniklá oteplení. [13]

3.1 Princip měření

Abychom mohli měřit teplotu pomocí termokamery, je důležité znát problematiku bezkontaktního měření. Tělesa vykazující teplotu vyšší než je absolutní nula, vyzařují elektro magnetické záření. Záření je emitováno v důsledku pohybu částic hmoty a označujeme ho jako tepelné záření. U bezdotykového měření teploty se využívá elektromagnetické záření o vlnových délkách 0,4 až 15 μm . Toto záření z velké části spadá do infračerveného záření a částečně do viditelné oblasti. Tento interval vlnových délek pokrývá teploty v rozmezí $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$. K bezdotykovému měření se využívají pyrometry, což jsou infračervené teploměry nebo infračervené termokamery. Snímají rozložení teploty na celém povrchu objektu a výstupem těchto měření je termograf na displeji termokamery. Tepelné záření z objektu je soustředěno optickým systémem na vhodný detektor, jehož elektrický signál je dále zpracován v elektronickém obvodu termokamery. Intenzita emitovaného záření závisí na teplotě a rozlišuje se svou vlnovou délkou. Pro princip a pochopení se používá ideální objekt, a tím je černé těleso. Černé těleso je prvek, který při dané teplotě vyzařuje nejvyšší možné množství energie a také pohltí veškerou energii, která na něj dopadá. Celková intenzita vyzářeného černého tělesa je podle Stefan-Boltzmanova zákona úměrná čtvrté odmocnině termodynamické teploty. [13]

$$M_o = \sigma \cdot T^4$$

Skutečné těleso však vyzařuje a pohlcuje méně tepelného záření, než těleso černé, a proto tento faktor řídí emisivita. Emisivita je poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii vyzařované černým tělesem při stejné teplotě. Závisí na vlnové délce, teplotě, materiálu, kvalitě povrchu a úhlu pozorování. Existují tělesa, jejichž emisivita je konstantní v širokém rozsahu vlnové délky. Tato tělesa nazýváme šedá. Jejich emisivita je menší než 1, pro měření termokamerou jsou nejvhodnější. [13]

Pro intenzitu vyzařování šedého tělesa pak platí Stefan-Bolzmannův zákon v tomto tvaru:

$$M = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

Intenzita vyzařování M je dána podílem zářivého toku F (W) a plochy S (m²) zdroje záření. Pro zářivý tok platí:

$$\phi = M \cdot S$$

Jevy, které se projevují u reálných objektů, jsou: pohltivost α , odrazivost ρ , propustnost τ .

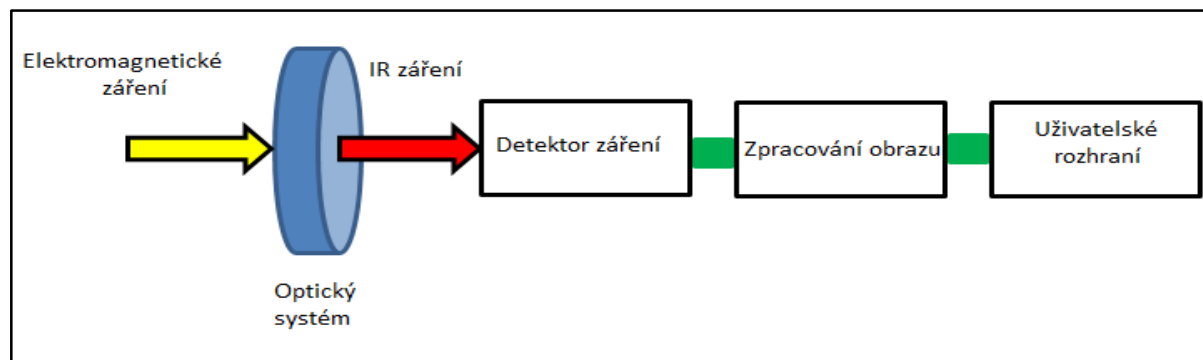
Musí platit: $\alpha + \rho + \tau = 1$

Tabulka 7 Vlastnosti materiálů

Materiál	teplota	Emisivita
Bronz leštěný	50	0,1
Bronz leštěný	200	0,03
Bronz oxidovaný	100	0,61
Cihla červená hrubá	100	0,65
Leštěný hliník	100	0,05
Leštěná měď	100	0,03
Leštěná ocel	700	0,7
Nikl, drát	200-1200	0,1-0,2
Písek	20	0,9
Zoxidované železo	538	0,7-0,9
papír	20	0,93
dřevo	20	0,8-0,9
Voda, led	0-20	0,96
Lidská pokožka	32	0,96

3.1.1 Funkce termokamery

Optický systém termokamery funguje jako filtr. Dopadající elektromagnetické záření, je přefiltrováno a projde jen infračervené záření. Na čočce optiky je navíc nanесena antireflexivní vrstva, které zabrání odrazu infračerveného záření na povrchu čočky. Infračervené záření poté dopadá na detektor, který jej převádí na elektrický signál, který je další elektronikou převeden na výsledný termograf. [13]



Obrázek 1 Blokové schéma termokamery

3.1.2 Měření

V zadání diplomové práce mám za úkol změřit pomocí termokamery rozvaděč nn a jeho části. Hlavní rozvaděč nn se nachází v suterénu fakulty FEI. Štítkové hodnoty rozvaděče viz Obrázek 2.



The image shows a close-up of a green technical label for a 'Compact' switchgear. The label contains the following data:

Compact		
1000 A 24 kV		
Ui 800 V	Uimp 8 kV	
Ue (V)	Icu(kA)	Ics(kA)
220/240 a	85	37
380/415 a	50	37
440 a	50	25
500/525 a	40	20
660/690 a	30	15
Icw 19.2kA / 1s cat B		

Obrázek 2 Štítek hlavního rozvaděče nn



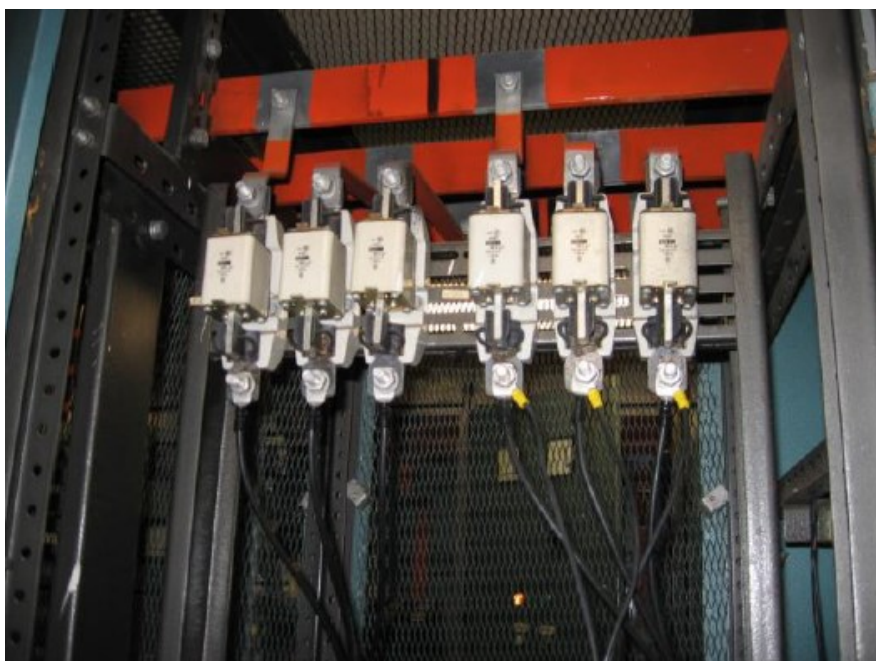
Obrázek 3 Krytý rozvaděč nn na fakultě FEI

Při přípravě měření, došlo k problému. Po otevření předního krytu jsme zjistili, že součásti rozvaděče jsou kryty lesklým plechem. Kdybychom chtěli měřit termokamerou, museli bychom toto krytí odstranit, protože lesklý plech má malou emisivitu, a tedy se velká část elektromagnetického záření odráží. Měření pak bývá extrémně nepřesné. Po konzultaci s vedoucím mé diplomové práce Ing. Zdeňkem Hytkou, CSc. jsme se domluvili, že pro časovou tíseň a technicky náročný úkon, bude lepší použít měření z minulých let. Na budově rektorátu „A“ a centrální analytické laboratoře „N“ prováděl měření Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D se svým bakalářem. Z této bakalařské práce použiji pouze termovizní snímky. Následující snímky byly pořízeny 6.4.2010 v čase 10:00 – 11:30. [14]

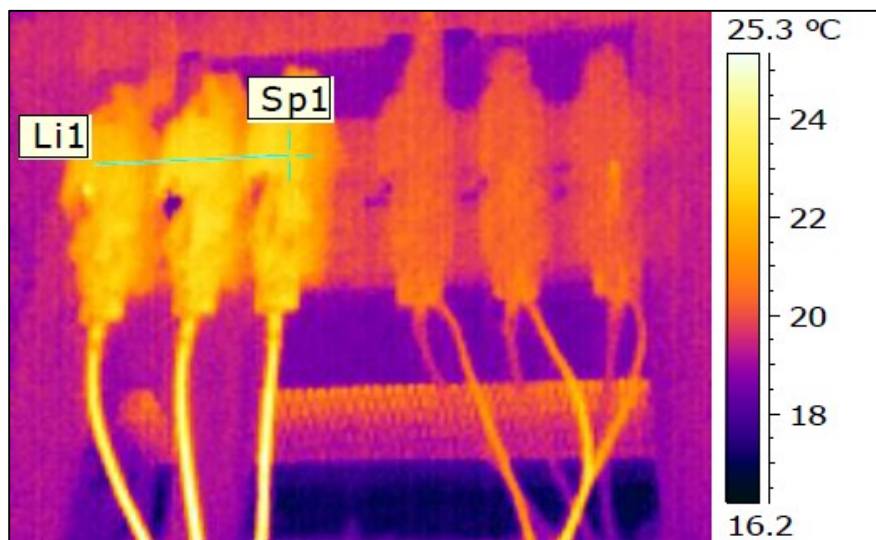
Kobka 2 transformovna budovy N

Jmenovitá hodnota: 160 A

Proudové zatížení: 40 A



Obrázek 4 Reálný snímek Kobka 2



Label	Value
IR: Max	26,1 °C
IR: Min	16,3 °C
Sp1	25,5 °C
Emissivity	0,9
Li1: Max	22,9 °C
Li1: Max	21,4

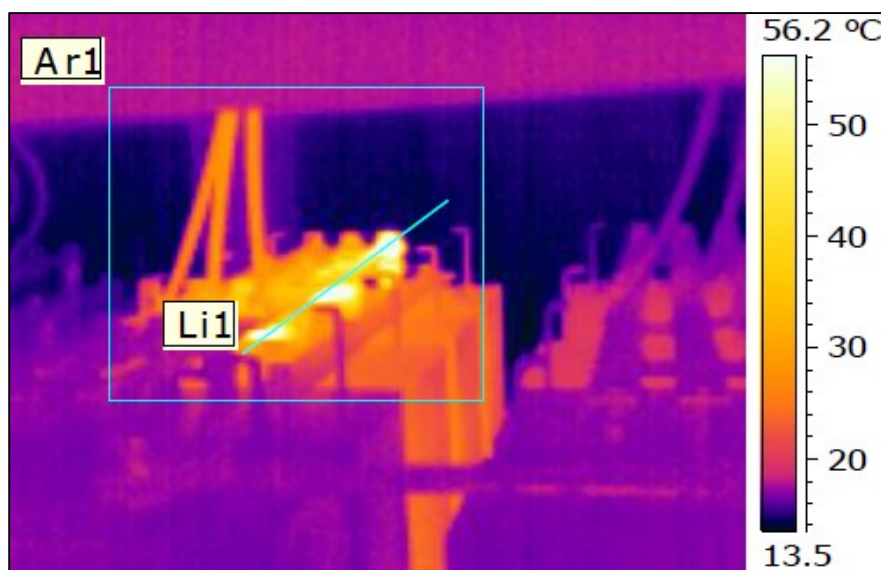
Obrázek 5 Termovizní snímek Kobka 2

Analýza snímku: Oteplení je 6,6 °C. Vzniklo důsledkem přechodového odporu spoje a proudového zatížení. Toto oteplení je zcela běžné.

Kobka 2 transformovna budovy N – kompenzační kondenzátory



Obrázek 6 Reálný snímek Kobka 2 - kompenzační kondenzátory



Label	Value
IR: Max	100,2 °C
IR: Min	13,4 °C
Lil: Max	98,8 °C
Lil: Min	13,9 °C
Ar1: Max	100,2 °C

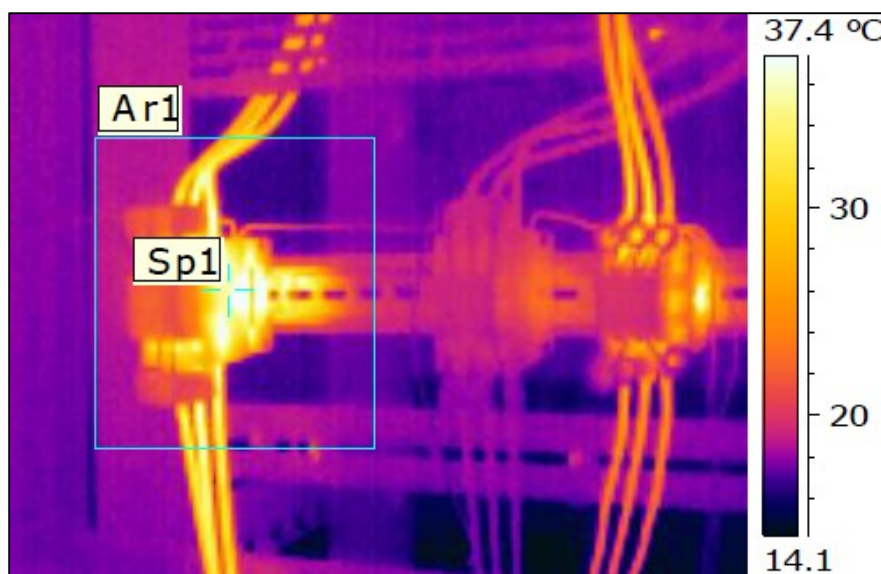
Obrázek 7 Termovizní snímek Kobka 2 - kompenzační kondenzátory

Analýza snímku: Příčina vzniku oteplení je proudové zatížení. Na tomto snímku je oteplení vybíjecích odporů 86,8 °C. Odpory jsou na takové zatížení stavěny. Snížení teploty by se dosáhlo zlepšením průchodu vzduchu.

Kobka 3 transformovna budovy N - Stykače



Obrázek 8 Reálný snímek Kobka 3



Obrázek 9 Termovizní snímek Kobka 3

Label	Value
IR: Max	50,5 °C
IR: Min	13,8 °C
Sp1	35,4 °C
Emissivity	0,9
Ar1: Max	50,5 °C

Analýza snímku: Vzniklé oteplení na stykači je 36,7 °C. Teplota je vysoká kvůli cívce, která zahřívá zařízení. Lepší průchod vzduchu by teplotu snížil.

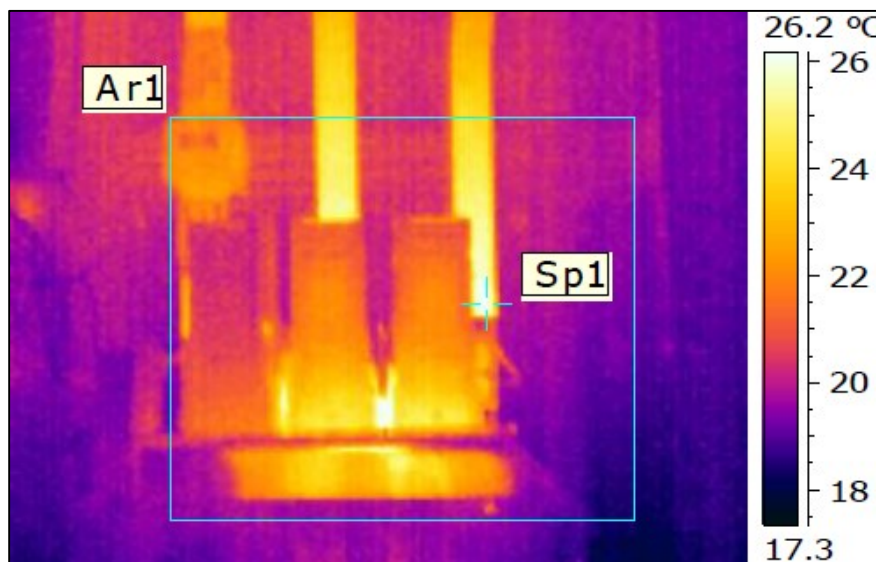
Kobka 2 transformovna budovy N

Jmenovitá hodnota: 650A

Proudové zatížení: 150A



Obrázek 10 Reálný snímek Kobka 2 - transformovna část 1



Label	Value
IR: Max	27,9 °C
IR: Min	17,7 °C
Sp1	26,1 °C
Emissivity	0,9
Ar1: Max	27,9 °C

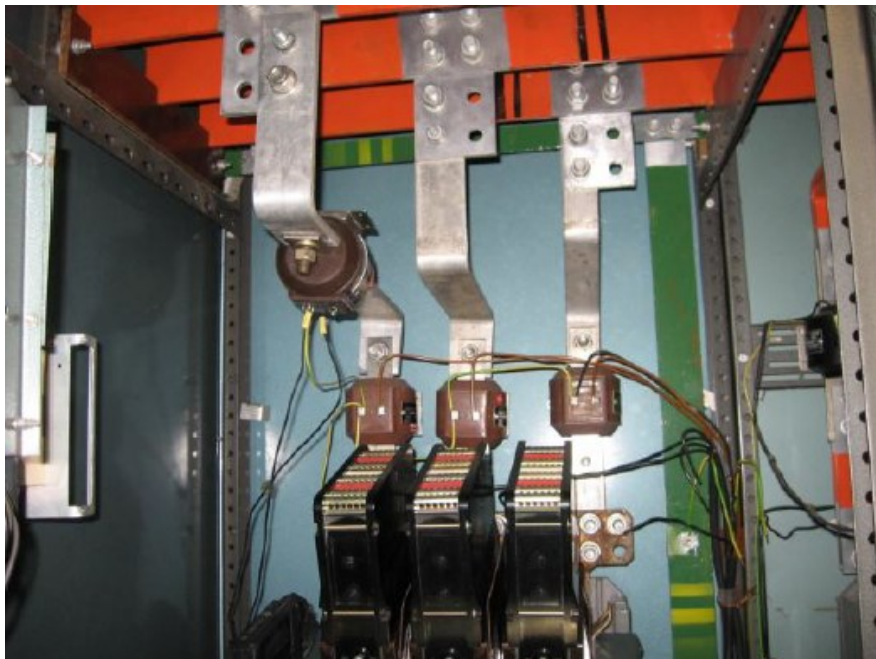
Obrázek 11 Termovizní snímek Kobka 2 – transformovna část 1

Analýza snímku: Oteplení na snímku je 10,2 °C. Při tomto zatížení je to zcela v pořádku.

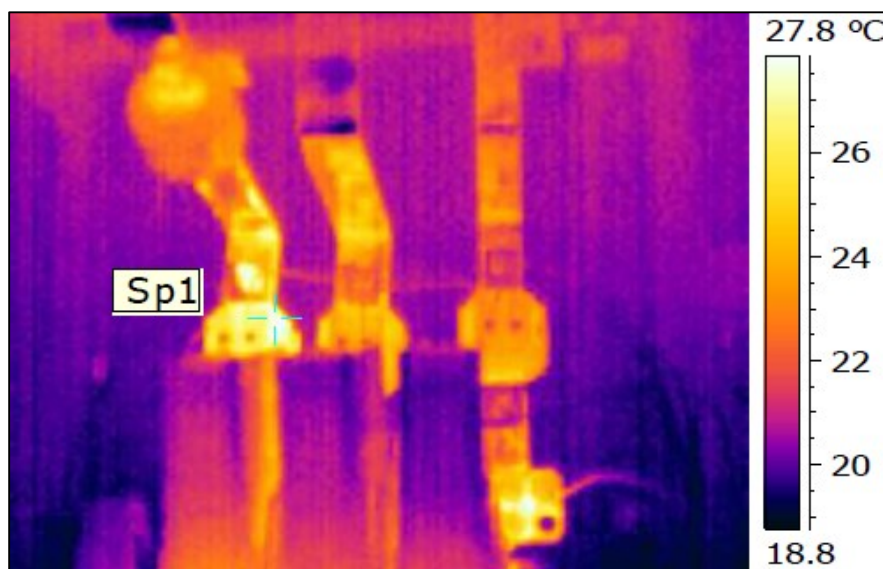
Kobka 2 transformovna budovy N

Jmenovitá hodnota: 650A

Proudové zatížení: 150A



Obrázek 12 Reálný snímek Kobka 2 transformovna část 2



Obrázek 13 termovizní snímek Kobka 2 transformovna část 2

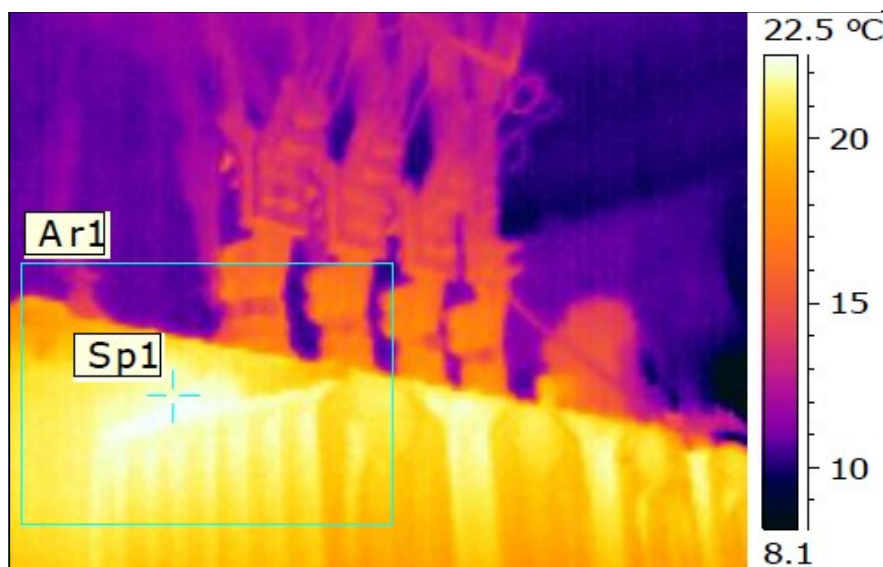
Label	Value
IR: Max	28,2 °C
IR: Min	18,7 °C
Sp1	27,9 °C
Emissivity	0,9

Analýza snímku: Oteplení první fáze je 9,2 °C. Ze snímku je zřejmé, že ostatní fáze jsou zatěžovány méně. Teploty fází jsou v pořádku.

Transformátor rozvodny budovy N



Obrázek 14 Reálný snímek transformátoru rozvodny



Label	Value
IR: Max	22,8 °C
IR: Min	7,1 °C
Sp1	22,2 °C
Emissivity	0,9
Ar1: Max	22,8 °C

Obrázek 15 Termovizní snímek transformátoru rozvodny

Analýza snímku: Oteplení transformátoru nemá na funkčnost žádný vliv.

Kobka 7 hl. rozvodna NN budovy N

Jmenovitá hodnota: 750A

Proudové zatížení: 150A



Obrázek 16 Reálný snímek Kobka 7 hl. rozvodna NN



Obrázek 17 Termovizní snímek Kobka 7 hl. budova NN

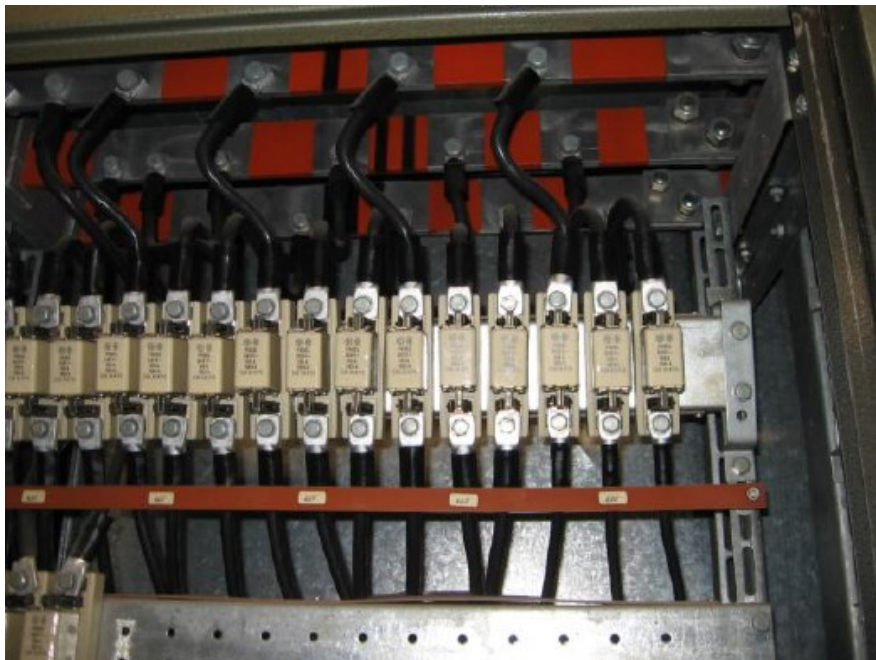
Label	Value
IR: Max	27,3 °C
IR: Min	14,0 °C
Sp2	24,7 °C
Emissivity	0,9
Ar1: Max	27,3 °C

Analýza snímku: Nejvíce zatížená je druhá fáze, která má oteplení 13,3°C. Teplota vzhledem ke svému zatížení by mohla být vyšší.

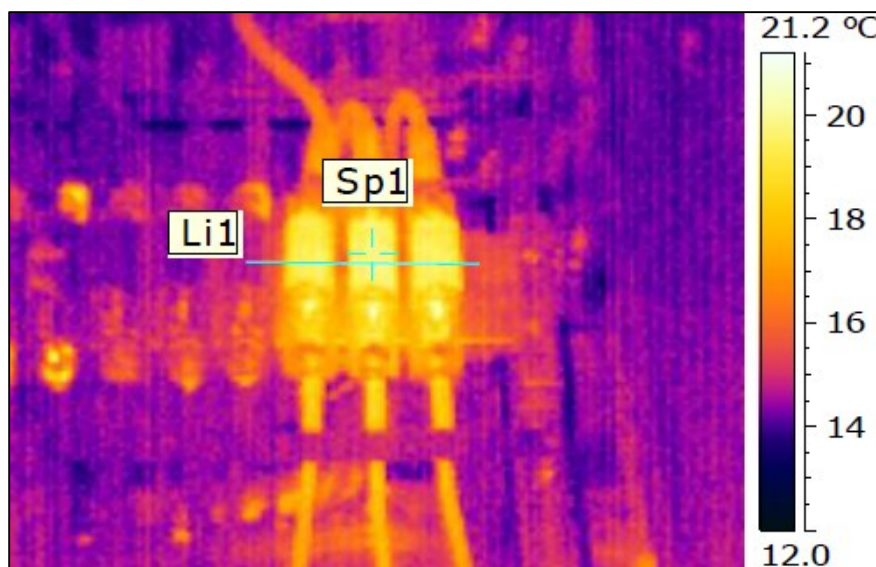
Kobka 13 hl. rozvodna NN budovy N

Jmenovitá hodnota: 100A

Proudové zatížení: 20A



Obrázek 18 Reálný snímek Kobka 13 hl. rozvodna NN



Obrázek 19 termovizní snímek Kobka 13 hl. rozvodna NN

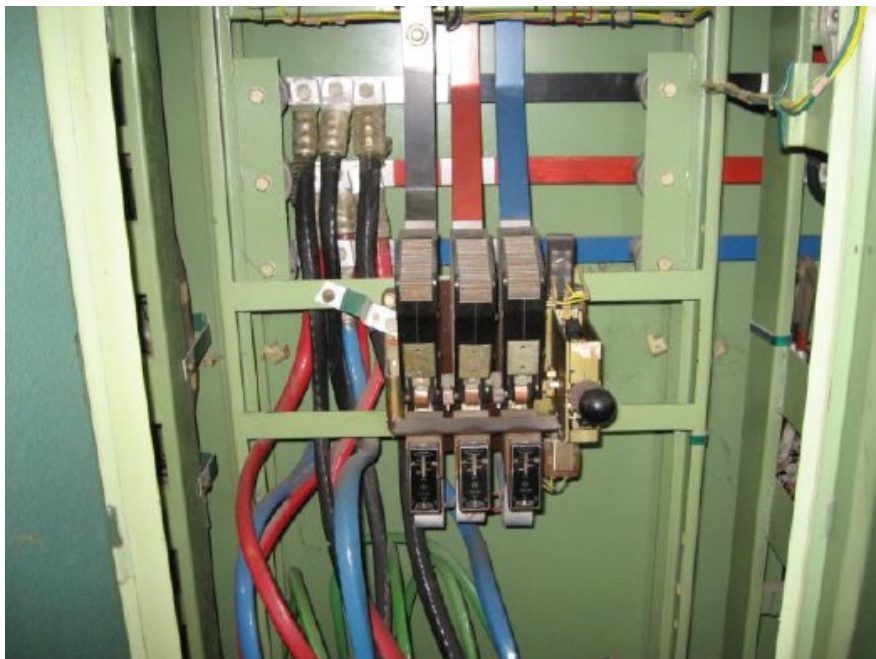
Label	Value
IR: Max	21,8 °C
IR: Min	13,0 °C
Sp1	19,9
Emissivity	0,90
Li1: Max	19,9 °C
Li1: Min	14,6 °C

Analýza snímku: Ze snímku je patrné zatížení na pojistkách. Jejich oteplení je v rozmezí 6,3 - 6,9 °C. Tyto hodnoty jsou přijatelné.

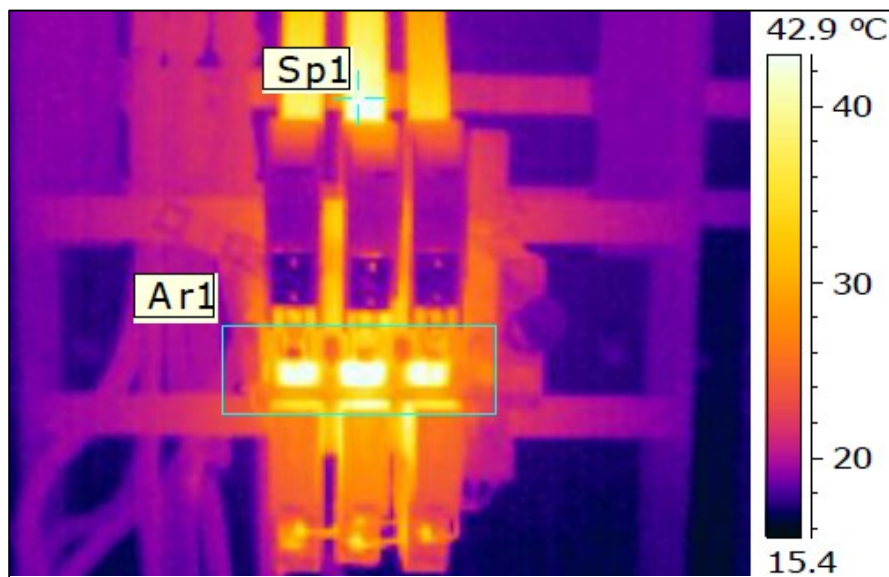
Kobka 1 rozvodna budovy A

Jmenovitá hodnota: 500A

Proudové zatížení: 200A



Obrázek 20 Reálný snímek Kobka 1 rozvodna budovy A



Label	Value
IR: Max	53,2 °C
IR: Min	15,8 °C
Sp1	42,0 °C
Emissivity	0,90
Li1: Max	53,2 °C
Li1: Min	17,9 °C

Obrázek 21 Termovizní snímek Kobka1 rozvodna budovy A

Analýza snímku: Na snímku je vidět velké oteplení vypínače, které je 37,4 °C.

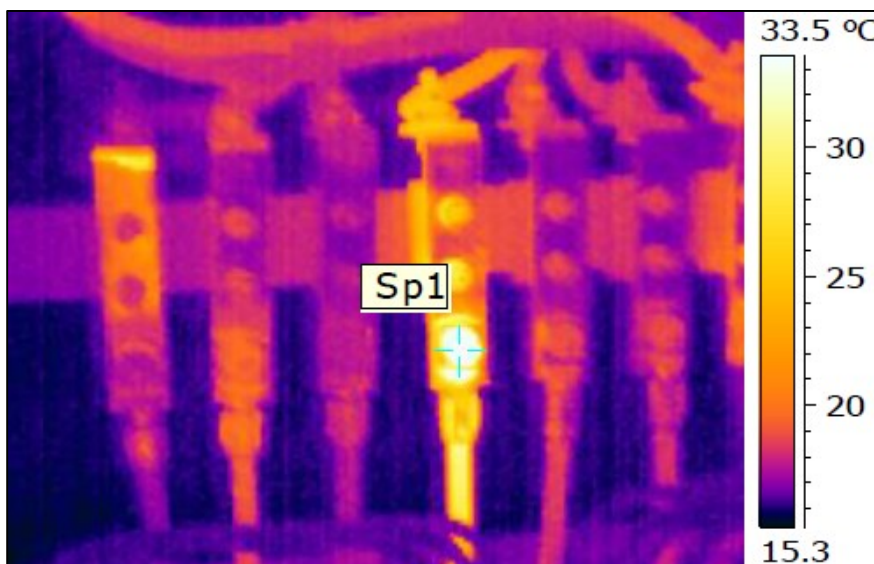
Kobka 3 budova A

Jmenovitá hodnota: 100A

Proudové zatížení: 21A



Obrázek 22 Reálný snímek Kobka 3 budova A



Obrázek 23 Termovizní snímek Kobka 3 budova A

Analýza snímku: Na snímku jde vidět oteplení kontaktu, které vzniká přechodovým odporem. Oteplení není velké, ale podle snímku je vidět špatný kontakt. Doporučení je stykovou plochu očistit a spoj dotáhnout.

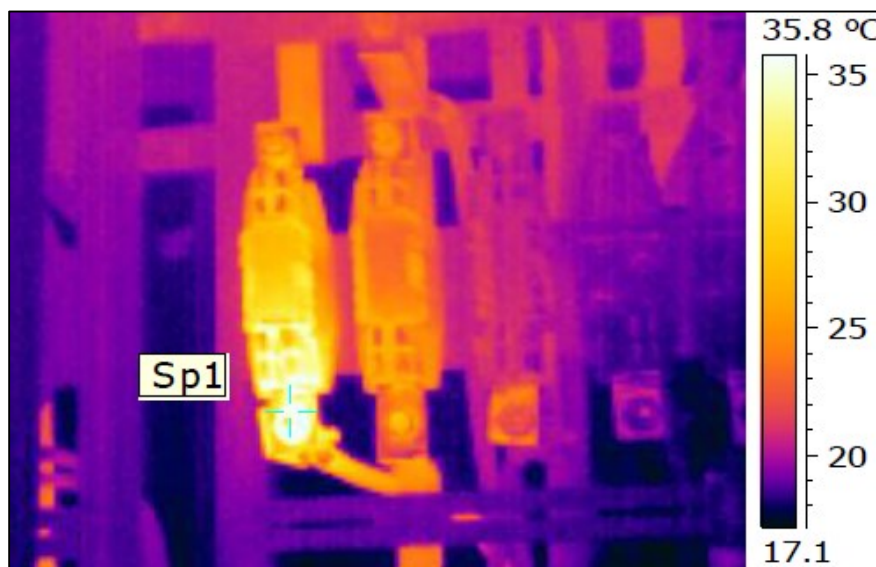
Kobka 2 budova A

Jmenovitá hodnota: 200A

Proudové zatížení: 50A



Obrázek 24 Reálný snímek Kobka 2 budova A



Label	Value
IR: Max	39,9 °C
IR: Min	16,9 °C
Sp1	38,7 °C
Emissivity	0,90

Obrázek 25 Termovizní snímek Kobka 2 budova A

Analýza snímku: Ze snímku je patrné oteplení pojistky na první fázi. I když oteplení není vysoké, oteplení je 21,8 °C, je doporučeno stykové plochy očistit a dotáhnout.

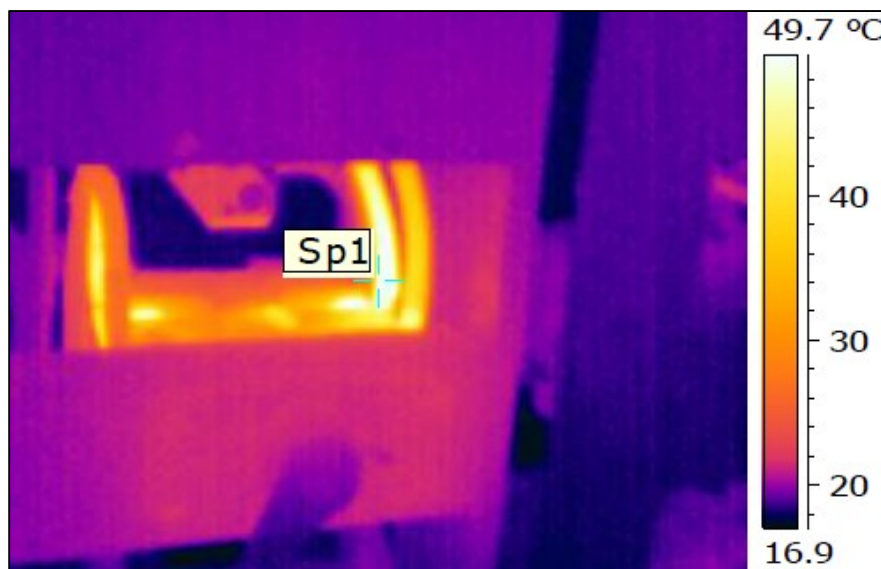
Kobka 3 budova A

Jmenovitá hodnota: 100A

Proudové zatížení: 21A



Obrázek 26 Reálný snímek Kobka 3 budova A



Obrázek 27 Termovizní snímek Kobka 3 budova A

Label	Value
IR: Max	60,7 °C
IR: Min	16,7 °C
Sp1	55,1 °C
Emissivity	0,90

Analýza snímku: Na snímku jde vidět oteplení druhé fáze na vypínači. Hodnota tohoto oteplení je 38,4 °C. Teplota je vzhledem k zatížení vysoká a je třeba očistit kontakt a dotáhnout spoj.

4 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo popsat problematiku tepelných účinků vzniklých průchodem elektrického proudu proudovodnými dráhami rozvaděče. S tímto problémem úzce souvisí také konstrukce rozvaděče. Materiály a uspořádání jsou faktory, které ovlivňují odvod tepla z rozvaděče. Důležitým faktorem jsou také vnější vlivy a okolí, ve kterém je rozvaděč instalován. Odvod tepla z elektrických rozváděčů je úkol, který při návrhu řeší projektant. Rozvaděče nn do bytových prostor jsou navrhovány na přirozené chlazení, kdy přestup tepla z rozvaděče do okolí je řešen pomocí sálání tepla nebo využití odvodu tepla konstrukcí. Chlazení těchto rozváděčů pracuje na dostatečně velkém teplotním spádu mezi vnitřním prostředím rozvaděče a okolím s dostatečně velkou plochou skříně rozvaděče. Příznivé podmínky pro umístění rozvaděče jsou prostory se stabilní teplotou a nízkou vlhkostí. Pokud tyto předpoklady nejsou splněny, může dojít k výkonovým ztrátám elektrického vybavení rozvaděče, k nadměrnému ohřevu a selhání funkce některých přístrojů. K selhání vnitřního vybavení rozvaděče dochází také vlivem nízkých teplot a nadměrné vlhkosti, zejména v případě použití elektronických přístrojů. Z těchto důvodů je nezbytné, aby vnitřní teplota rozvaděče byla poměrně v úzkém rozmezí teplot.

Kromě teoretického zpracování, jsem také měl pomocí termokamery FLIR změřit a nasnímat oteplení rozvaděče na fakultě FEI. Při přípravě měření jsem však zjistil, že rozvaděč je kompletně zaplechovaný. Pro nedostatek času a náročnou demontáž plechů mi po konzultaci vedoucí mé diplomové práce doporučil použít již naměřené snímky z minulých let. Tento fakt, nepovažuji za důležitý, neboť měření pomocí termokamery je velmi jednoduché. Kameru stačí pouze nasměrovat na měřenou oblast a chvíli nechat snímat. V dnešní době jsou již kamery, které vám pomocí softwaru udělají také termovizní zprávu, a tak se měření i protokol velmi usnadní. Problém, který termokamery neumí vyřešit, je měření teploty na lesklých kovech. Při zkoušce měření na zaplechovaném rozvaděči na fakultě FEI došlo k chybnému měření. V lesklém plechu jsem se odrazil a termokamera měřila oteplení odrazu mé osoby a nikoliv oteplení rozvaděče. Je třeba si uvědomit, že termokamery v dnešní době stojí i několik set tisíc korun, ale lesklé kovy jim dělají potíže. Důvod je ten, že lesklé kovy mají nízkou emisivitu, to znamená, že se velká část elektromagnetického záření odráží a měření pak bývá velmi nepřesné.

Literatura

1. *Proudová zatížitelnost vodičů* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z:
<http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/proudova-zatizitelnost-vodicu>
2. LOJKÁSEK, Jan. *Rozváděče nn*. Praha: IN-EL, 1994. Knižnice Elektro.
3. *Soubor základních elektrotechnických předpisů souvisejících s výrobou, montáží a údržbou rozváděčů - rozvodnic do 1 000 V a elektromagnetická kompatibilita*. s.l.: [s.n.], 1994.
4. HOLOUBEK, Jiří. *Rozvodná zařízení a spínací prvky*. Brno: Nakladatelství VUT, 1991.
5. HAVELKA, Otto. *Stavba elektrických přístrojů I*. Brno: VUT, 1984. Učební texty vysokých škol.
6. *Norma ČSN EN 60529 Stupně ochrany krytem*
7. *Norma ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 Elektrické instalace nízkého napětí*.
8. *Rozváděče pro strojní zařízení, aneb, Kontrola či revize*. Brno: L.P. Elektro, 2016. Sborník prezentací. ISBN 978-80-87616-44-4.
9. *Norma ČSN EN 61439-1 ed.2 Rozvaděče nízkého napětí*.
10. *Vyšší spolehlivost a bezpečnost s rozváděči Eaton* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.profiklubelektrotechniku.cz/vyssi-spolehlivost-a-bezpecnost-s-rozvadeci-eaton.html>
11. *Životnost kompenzačních zařízení* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zivotnost-kompenzacnich-zarizeni--10148>
12. *Norma ČSN 33 1500 Revize elektrických zařízení*
13. *Termokamery a pyrometry – princip měření, vlastnosti a využití* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/UserFiles/file/termokamery_1.pdf
14. BEZECNÝ, Michal. *Termovizní diagnostika rozvodné sítě VŠB-TUO*. Ostrava, 2010. Bakalářská práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce SIKORA, Tadeusz.

Seznam příloh

Příloha 1 Protokol o určení vnějších vlivů	41
Příloha 2 Typy provedení rozvaděčů	45

Příloha 1 Protokol o určení vnějších vlivů
Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava

Protokol číslo 1/ 2017

O určení vnějších vlivů vypracovaný odbornou komisí

V Ostravě

dne: 7.12.2016

Složení komise:

Předseda: Bc. Tomáš Kosellek

Název objektu: Rozvaděč nn

Datum sepsání protokolu: 11.3.2017

Podklady použité pro vypracování protokolu:

1. Stavební výkresy objektu
2. Vyjádření specialisty požární bezpečnosti
3. Prohlídka místnosti
4. ČSN 33 2000-5-51 ed. 2.

Popis objektu:

Objekt se nachází na území VŠB-TUO v Ostravě. Rozvaděč je umístěn v místnosti (je tedy navržen pro vnitřní instalaci) a nachází se v suterénu fakulty FEI, vedle krytého venkovního parkoviště.

Rozhodnutí:

K rozvaděči nn musí být taková opatření, aby se k jeho blízkosti mohli pohybovat pouze osoby znalé. Projekt je zaměřen na prostor kolem rozvaděče, který musí splňovat bezpečnostní opatření, aby osobám znalým nehrozilo nebezpečí a nedošlo k poškození majetku.

Zdůvodnění: Komise rozhodla na základě platných elektrotechnických předpisů ČSN.

Určené vnější vlivy v dané místnosti:

321	Vnější vlivy	
321.1	Teplota okolí - 5 až + 40°C	AA4
321.2	Atmosférické podmínky v okolí Prostory chráněné před atmosférickými vlivy, bez regulace teploty a vlhkosti	AB4
321.3	Nadmořská výška Nadmořská výška do 2000 m.n.m	AC1
321.4	Výskyt vody Zanedbatelný výskyt vody	AD1
321.5	Výskyt cizích pevných těles Množství ani povaha prach nebo cizích částí nejsou významné	AE1
321.6	Výskyt korozivních nebo znečišťujících látek Množství ani povaha korozivních nebo znečišťujících látek nejsou významné	AF1
321.7.1	Ráz Standartní průmyslové zařízení	AG2
321.7.2	Víbrace Mírné namáhání vibracemi	AH1
321.8	Výskyt rostlinstva nebo plísní Není vážné nebezpečí růstu rostlin nebo plísní	AK1
321.9	Výskyt živočichů Není vážné nebezpečí výskytu živočichů	AL1
321.10	Elektromagnetická, elektrostatická nebo ionizující působení Bez škodlivých účinků unikajících proudů, elektromagnetického pole, ionizujícího záření nebo indukce	AM1
321.11	Sluneční záření	AN1

	Nízká intenzita slunečního záření	
321.12	Seizmické činky Zanedbatelné seizmické účinky	AP1
321.13	Bouřková činnost Počet bouřkových dní je menší než 25	AQ1
321.14	Pohyb vzduchu Pomalý pohyb vzduchu do 1m/s	AR1
321.15	Vítr Malý vítr do 20 m/s	AS1
322	Využití	
322.1	Schopnost osob Zařízení, která nejsou chráněna před nebezpečným dotykem živých částí	BA5
322.3	Dotyk osob s potenciálem země Kontakt osob s potenciálem země je výjimečný	BC2
322.4	Podmínky úniku v případě nebezpečí Malá hustota obsazení, snadné podmínky pro únik	BD1
322.5	Povaha zpracovávaných nebo skladových látek Bez významného nebezpečí skladovaných látek	BE1
323	Konstrukce budov	
323.1	Stavební materiály Nehořlavý stavební materiál	CA1
323.2	Konstrukce budovy Zanedbatelné nebezpečí	CB1

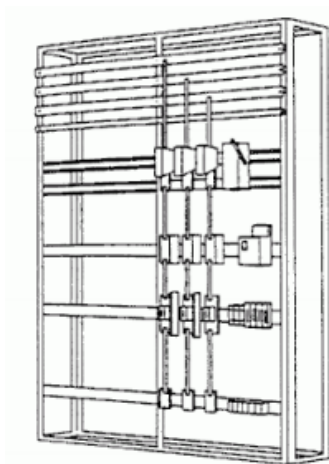
Zhodnocení:

AG2 – lze zajistit i zesílením ochrany

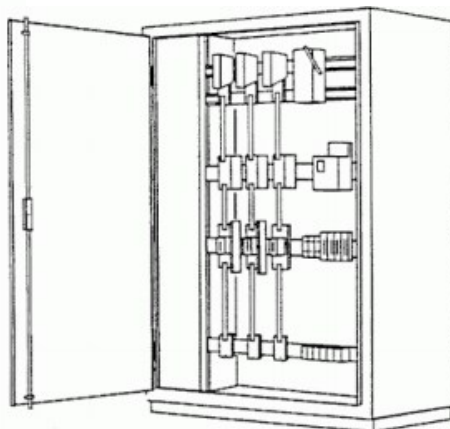
BA5 – Přístup k prostoru mohou mít pouze osoby znalé

Závěr:

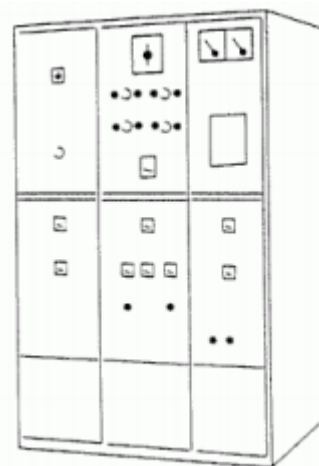
Dojde-li v budoucnosti ke změnám ze strany zadavatele v prostoru, kde se rozvaděč nn nachází, je nutné tento protokol doplnit o nově zjištěné skutečnosti.



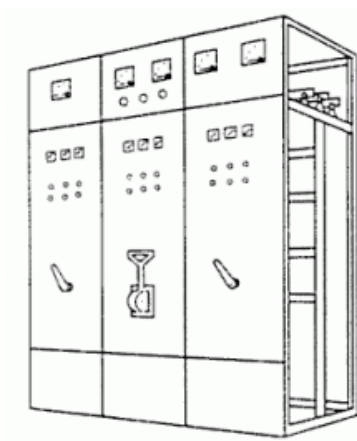
a)



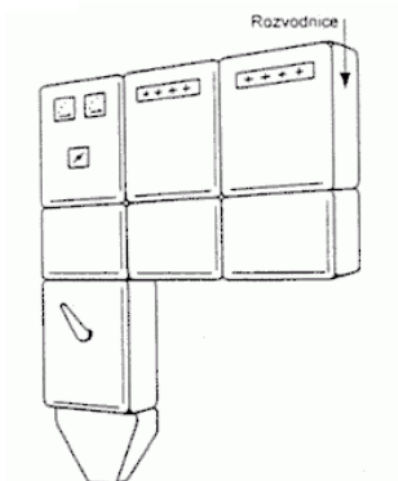
b)



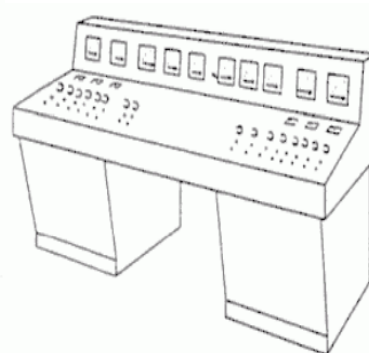
c)



d)



e)



f)

- a) Nekrytý rozvaděč
- b) Panelový rozvaděč
- c) Skříňový
- d) Skříňový stavebnicový
- e) Stavebnicová sestava rozvodnic
- f) Pultový